

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-178446

(43)Date of publication of application : 11.07.1997

(51)Int.Cl.

G01B 11/24

(21)Application number : 07-337433 (71)Applicant : KOMATSU LTD

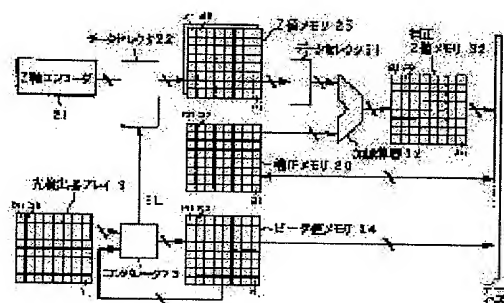
(22)Date of filing : 25.12.1995 (72)Inventor : MORIYA MASATO

## (54) THREE-DIMENSIONAL SHAPE MEASURING DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize three-dimensional measurement with high precision by compensating three-dimensional measured data by taking a curve of image face of an object glass included in a confocal optical system into considerations.

**SOLUTION:** In a compensation memory 30, compensation data for compensating an error due to curve of an image face of an objective lens is stored per index in the X-Y direction in advance. To obtain the compensation data, a plan mirror which is constituted on an ideal plan as an object to be measured is measured actually to obtain measurement data (Z value) related to a shape of a surface of the plan mirror in which an error due to curve of the image face is included, and deviation due to the curve of the image face is calculated per X-Y position based on the measurement data by using a host computer. An addition and subtraction device 32 adds or subtracts Z value stored in a Z value memory 25 and compensation data stored in a compensation memory 30 to compensate Z value per index and input the result of compensation into a compensation Z value memory 33. The memory 33 stores Z value compensated and outputs stored data to the host computer.



\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]A curvature-of-field correction memory means characterized by comprising the following by which amendment data of a curvature of field of said object lens is memorized in a three-dimensional shape measuring device, A three-dimensional shape measuring device provided with \*\* for a compensation means which amends surface type-like data of a measured object obtained by said three-dimensional shape-measurement means with amendment data memorized by said curvature-of-field correction memory.

A confocal optical apparatus constituted so that light generated from two or more point light sources might be condensed to spot light with an object lens, a measured object might be irradiated and the reflective scattered light from a measured object might be received by a photodetector array by which two or more photodetectors were arranged.

A relative-displacement means to change a relative position of a condensing position and a measured object along an optical axis direction of said confocal optical apparatus of spot light irradiated by said measured object one by one.

A position detecting means which detects said optical axis direction position over a confocal optical apparatus of said measured object.

A detect output of each photodetector of said photodetector array is sampled one by one with movement of a spot light position by said relative-displacement means, and a relative position of a measured object, A three-dimensional shape-measurement means to measure a detect output of said position detecting means when a light-receiving output of each photodetector becomes the maximum as a surface position of a measured object.

[Claim 2]Condense a light characterized by comprising the following generated from two or more point light sources to spot light with an object lens, and a measured object is irradiated, A confocal optical apparatus constituted so that the reflective scattered light from a measured object might be received by a photodetector array by which two or more photodetectors were arranged, A relative-displacement means to change a relative position of a condensing position and a measured object along an optical axis direction of said confocal optical apparatus of spot light irradiated by said measured object one by one, A position detecting means which detects said optical axis direction position over a confocal

optical apparatus of said measured object, A detect output of each photodetector of said photodetector array is sampled one by one with movement of a spot light position by said relative-displacement means, and a relative position of a measured object, A three-dimensional shape measuring device which has a three-dimensional shape-measurement means to measure a detect output of said position detecting means when a light-receiving output of each photodetector becomes the maximum as a surface position of a measured object.

A nominal-contour data memory means by which nominal-contour data in which a nominal contour of said measured object is shown is memorized including a part for a curvature-of-field error of said object lens.

A reference deviation calculating means which outputs reference deviation data in which a curvature-of-field error of said object lens was offset by asking for a deviation with nominal-contour data memorized by surface type-like data and said nominal-contour memory means of a measured object obtained by said three-dimensional shape-measurement means.

[Claim 3]The three-dimensional shape measuring device according to claim 1 or 2 which is that to which said relative-displacement means moves a measured object along an optical axis direction of a confocal optical apparatus.

[Claim 4]The three-dimensional shape measuring device according to claim 1 or 2 which is that to which said relative-displacement means moves a confocal optical apparatus along the optical axis direction.

[Claim 5]The three-dimensional shape measuring device according to claim 1 or 2 which is that to which said relative-displacement means moves an object lens of a confocal optical apparatus along the optical axis direction.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates to the three-dimensional shape measuring device which amended the surface type-like data of the measured object obtained by the three-dimensional shape measuring device using a confocal optical system in consideration of the curvature of field of an object lens.

[0002]

[Description of the Prior Art]As art which measures objective shape like the shape inspection of a semiconductor manufactured part, as shown, for example in JP,4-265918,A, there are some which have arranged the confocal optical system in two dimensions, and the composition is shown in drawing 7.

[0003]In drawing 7, the light of the light source 1 turns into a parallel beam via the lenses 2 and 3, and enters into pinhole array PH1. Pinhole array PH1, a pinhole is allocated in the direction of X-Y by matrix form. The half mirror 4 is penetrated, it is condensed with the object lenses 5a and 5b which constitute telecentric system by the aperture diaphragm 6, and the light which passed pinhole array PH1 is floodlighted by the measured object 7. The measured object 7 is laid on the moving stage 8 which can be displaced to Z shaft orientations. It is condensed with the object lenses 5a and 5b, and is reflected by the half mirror 4, and image formation of the light by which reflective dispersion was carried out with the measured object 7 is carried out to pinhole array PH1 and a conjugate position. Pinhole array PH2 is allocated in this image formation position, and each photodetector of the photodetector array 9 detects the light which passes through a pinhole.

[0004]According to this composition, displacing the moving stage 8 to a Z direction by the movement controlling part 10. The output of each photodetector of 9 of a photodetector array can be independently sampled by the three-dimensional measuring part 20, and a Z direction position when the output of each photodetector becomes the maximum can be detected as a surface position of the object 7 (peak processing).

[0005]The measured object 7 is fixed in this case, and it may be made to move the object lens 5a or 5b to a Z direction, and may be made to move the confocal optical system itself to a Z direction further.

[0006]Drawing 8 shows the internal configuration of the three-dimensional

measuring part 20 which carries out peak processing of the output of each photodetector of the photodetector array 9.

[0007]In drawing 8, the Z-axis encoder 21 inputs into the data selector 22 the position data which detects the position of the Z direction of Z shaft movement mechanism (in this case, Z shaft movement stage 8), and was detected.

[0008]On the other hand, the output  $D_{ij}$  ( $1 \leq i \leq L$ ,  $1 \leq j \leq M$ ) of each photodetector of the photodetector array 9 is inputted into the comparator 23 in order of the index. The comparator 23 is compared with the peak value data  $P_{ij}$  with the same index memorized by the peak value memory 24 in the output  $D_{ij}$  of the inputted photodetector. If it is  $D_{ij} > P_{ij}$ , the stored data  $P_{ij}$  of the index of the peak value memory 24 concerned will be updated with the output data  $D_{ij}$ , and if it is  $D_{ij} \leq P_{ij}$ , the data  $D_{ij}$  will be discarded. Select signal SL which is set to "1" from the comparator 23 to the data selector 22 at the time of  $D_{ij} > P_{ij}$ , and is set to "0" at the time of  $D_{ij} \leq P_{ij}$  is outputted.

[0009]Eventually, the maximum (peak value) of the outputs of each photodetector of the photodetector array 9 which changes corresponding to the Z direction scan of the measured object 7 is memorized by the peak value memory 24, respectively.

[0010]When select signal SL from the comparator 23 is "1", the data selector 22 (At the time of  $D_{ij} > P_{ij}$ ). The output of the Z-axis encoder 21 is outputted to Z value memory 25, and it operates so that the output of (the time of  $D_{ij} \leq P_{ij}$ ) and the Z-axis encoder 21 may be discarded, when select signal SL is "0."

[0011]Eventually, Z direction position data when the output of each photodetector of the photodetector array 9 becomes the maximum (peak value) is memorized by Z value memory 25, respectively.

[0012]Hereafter, operation of composition of having been shown in above-mentioned drawing 8 is explained with reference to the flow chart of drawing 9.

[0013]Corresponding to a three-dimensional (the XYZ direction) scan, it has the index  $i$  ( $1 \leq i \leq L$ ) in the direction of X in this case, and he has the index  $j$  ( $1 \leq j \leq M$ ) in the direction of Y, and is trying to have the index  $k$  ( $1 \leq k \leq N$ ) in a Z direction.

[0014]First, a system is worked, and the stored data of the peak value memory 24 and Z value memory 25 is cleared, and each index  $i$ ,  $j$ , and  $k$  is cleared further (Step 100). Next, while \*\*\*\*\*ing each index  $i$ ,  $j$ , and  $k$  to 1, respectively (Steps 110-120), the moving stage 8 is moved to the initial position corresponding to  $k=1$ .

[0015]In this state, the output  $D_{ij}$  of each photodetector of the photodetector array 9 is read one by one in order of an index, and it compares with the peak value data  $P_{ij}$  which has the same index with the comparator 23, respectively (Steps 130 and 140). And if the comparison result is  $D_{ij} > P_{ij}$ , while updating the stored data  $P_{ij}$  of the index of the peak value memory 24 concerned with the output data  $D_{ij}$ , The stored data  $P_{ij}$  of the index of Z value memory 25 concerned is updated with the output value of the Z-axis encoder 21 at that time (Step 150). However, when the above-mentioned comparison result is  $D_{ij} \leq P_{ij}$ , while discarding the data  $D_{ij}$ , the output value of the Z-axis encoder 21 is also discarded.

[0016]It repeats, \*\*\*\*\*ing an index one by one until the indexes  $i$  and  $j$

of an XY direction become  $i=L$  and  $j=M$  about such processing (Step 160).

[0017] Thus, after ending data processing of photodetector 1 region ( $k=1$ ) next,  $k$  is carried out  $+1$  and processing of the next field ( $k=2$ ) is performed similarly (Step 170).

[0018] Thus, after data processing of N region about a Z direction is completed, peak processing will be completed, and the surface type-like data of the measured object 7 will be stored in Z value memory 25, and the peak value of each photodetector of the photodetector array 9 will be stored in the peak value memory 24.

[0019] The surface type-like data of the measured object 7 stored in the above-mentioned Z value memory 25 is transmitted to the memory of a host computer via a data bus after that.

[0020]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, since the confocal optical system shown in drawing 7 has the object lenses 5a and 5b, a part for the error by the curvature of field of the object lenses 5a and 5b is contained in the surface type-like data of the measured object 7 produced by performing it above. As a curvature of field is shown in drawing 10, by the curve of the object lens 5b, curve to a control surface, and the planar image of pinhole array PH1 of drawing 8 says the phenomenon which carries out image formation, and it Namely, this sake, Even if it puts a plane measured object on an inspected side, the measurement value which changes with XY positions of a control surface will be obtained. That is, a plane measured object is immeasurable as a planar object object.

[0021] Thus, conventionally, in the device, since the curvature of field of the object lens contained in a confocal optical system was not taken into consideration, high-precision three-dimensional measurement or inspection could not be conducted.

[0022] This invention was made in view of such the actual condition, and an object of an invention is to provide the three-dimensional shape measuring device which realizes highly precise three-dimensional measurement by amending three-dimensional measurement data in consideration of the curvature of field of the object lens contained in a confocal optical system.

[0023]

[Means for Solving the Problem] In this invention, condense light generated from two or more point light sources to spot light with an object lens, and a measured object is irradiated, A confocal optical apparatus constituted so that the reflective scattered light from a measured object might be received by a photodetector array by which two or more photodetectors were arranged, A relative-displacement means to change a relative position of a condensing position and a measured object along an optical axis direction of said confocal optical apparatus of spot light irradiated by said measured object one by one, A position detecting means which detects said optical axis direction position over a confocal optical apparatus of said measured object, A detect output of each photodetector of said photodetector array is sampled one by one with movement of a spot light position by said relative-displacement means, and a relative position of a measured object, In a three-dimensional shape measuring device which has a three-dimensional shape-measurement means to measure a detect output of said position detecting

means when a light-receiving output of each photodetector becomes the maximum as a surface position of a measured object, He is trying to have compensation means \*\*\*\* which amends surface type-like data of a measured object obtained by curvature-of-field correction memory means by which amendment data of a curvature of field of said object lens is memorized, and said three-dimensional shape-measurement means with amendment data memorized by said curvature-of-field correction memory.

[0024]According to this invention, as curvature-of-field amendment data amends surface type-like data of a measured object obtained by a three-dimensional shape-measurement means, measurement accuracy of a three-dimensional shape measurement is raised.

[0025]In this invention, condense light generated from two or more point light sources to spot light with an object lens, and a measured object is irradiated, A confocal optical apparatus constituted so that the reflective scattered light from a measured object might be received by a photodetector array by which two or more photodetectors were arranged, A relative-displacement means to change a relative position of a condensing position and a measured object along an optical axis direction of said confocal optical apparatus of spot light irradiated by said measured object one by one, A position detecting means which detects said optical axis direction position over a confocal optical apparatus of said measured object, A detect output of each photodetector of said photodetector array is sampled one by one with movement of a spot light position by said relative-displacement means, and a relative position of a measured object, In a three-dimensional shape measuring device which has a three-dimensional shape-measurement means to measure a detect output of said position detecting means when a light-receiving output of each photodetector becomes the maximum as a surface position of a measured object, A nominal-contour data memory means by which nominal-contour data in which a nominal contour of said measured object is shown is memorized including a part for a curvature-of-field error of said object lens, He is trying to have a reference deviation calculating means which outputs reference deviation data in which a curvature-of-field error of said object lens was offset by asking for a deviation with nominal-contour data memorized by surface type-like data and said nominal-contour memory means of a measured object obtained by said three-dimensional shape-measurement means.

[0026]According to this invention. A part for a curvature-of-field error of said object lens is offset by asking for a deviation with nominal-contour data (a curvature-of-field error by an object lens is included in this nominal-contour data) in which a nominal contour of surface type-like data of a measured object and a measured object obtained by a three-dimensional shape-measurement means is shown.

[0027]

[Embodiment of the Invention]The example of this invention is described in detail according to an accompanying drawing below.

[0028]Drawing 1 attaches identical codes about the same component as the conventional technology which shows the example of this invention and was shown in previous drawing 8.

[0029]In drawing 1, the photodetector array 9, the comparator 23, the peak value memory 24, the Z-axis encoder 21, the data selector 22, and the Z value memory 25 operate like the case of previous drawing 8, and omit the overlapping explanation. Although he is trying to prepare Z value memory 25 the 2nd page in this case, in the example described below, it does not carry out by operating only the 1st page. If the data selector 31 provided in the latter-part side of Z value memory 25 is also operated, it is not, but the output of Z value memory 25 is inputted into the adder subtracter 32 as it is.

[0030]The amendment data  $C_{ij}$  for amending a part for the error by the curvature of field of an object lens in the correction memory 30 is beforehand memorized by each position (each index) of every [ of the direction of X-Y ].

[0031]In order to obtain this amendment data, there are the following techniques.

[0032](1) Actually measure the flat mirror etc. which comprise a flat surface ideal as the measured object 7, and obtain the measurement data about the shape of surface type of the flat mirror in which the error by a curvature of field was included. Since all the measurement data in this case (Z value) should become the same, the measurement data which is not so will include the error by a curvature of field. a part for therefore, the deviation according to the curvature of field from said measurement data using a host computer (normal-values-measurement data) -- every -- it computes for every X-Y position, and let this be amendment data. (2) The error by a curvature of field is computed every X-each Y position by the design simulation of an object lens, and let the result of having converted this error into the position data of the Z-axis encoder be amendment data.

[0033]The adder subtracter 31 amends Z value for every index by adding or subtracting the amendment data  $C_{ij}$  by which preliminary memorization was carried out to the Z value (namely, measurement data in which the error by a curvature of field was included)  $Z_{ij}$  memorized by Z value memory 25, and the correction memory 30, The correction results are inputted into the amendment Z value memory 33.

[0034]The amendment Z value memory 33 memorizes Z value  $Z_{ij}'$  by which the curvature-of-field error was amended, and outputs the stored data  $Z_{ij}'$  to a host computer via a data bus.

[0035]Operation of composition of being shown in this drawing 1 is explained with reference to the flow chart shown in drawing 2.

[0036]The procedure of Step 100 in the flow chart of drawing 2 - Step 170 is completely the same as that of Step 100 - Step 170 which was shown in previous drawing 10.

[0037]That is, if a system works, the stored data of the peak value memory 24 and Z value memory 25 will be cleared first, and each index  $i, j$ , and  $k$  will be cleared further (Step 100). Next, while \*\*\*\*\*ing each index  $i, j$ , and  $k$  to 1, respectively (Steps 110-120), the moving stage 8 is moved to the initial position corresponding to  $k=1$ .

[0038]In this state, the output  $D_{ij}$  of each photodetector of the photodetector array 9 is read one by one in order of an index, and it compares with the peak value data  $P_{ij}$  which has the same index with the comparator 23, respectively (Steps 130 and 140). And if the comparison result is  $D_{ij} > P_{ij}$ , while updating the



stored data  $P_{ij}$  of the index of the peak value memory 24 concerned with the output data  $D_{ij}$ . The stored data  $P_{ij}$  of the index of Z value memory 25 concerned is updated with the output value of the Z-axis encoder 21 at that time (Step 150). However, when the above-mentioned comparison result is  $D_{ij} \leq P_{ij}$ , while discarding the data  $D_{ij}$ , the output value of the Z-axis encoder 21 is also discarded.

[0039] It repeats, \*\*\*\*\*ing an index one by one until the indexes  $i$  and  $j$  of an XY direction become  $i=L$  and  $j=M$  about such processing (Step 160).

[0040] Thus, after ending data processing of photodetector 1 region ( $k=1$ ) next,  $k$  is carried out  $+1$  and processing of the next field ( $k=2$ ) is performed similarly (Step 170).

[0041] Thus, after data processing of N region about a Z direction is completed, Peak processing will be completed, and the surface type-like data of the measured object 7 in which the error by a curvature of field was included will be stored in Z value memory 25, and the peak value of each photodetector of the photodetector array 9 will be stored in the peak value memory 24.

[0042] Next, first, after clearing the indexes  $i$  and  $j$  (Step 200), each indexes  $i$  and  $j$  are \*\*\*\*\*ed to 1, respectively (Step 210).

[0043] In this state, the output  $D_{11}$  of the index  $i=1$  and the photodetector of the photodetector array 9 which is  $j=1$ , and the amendment data  $C_{11}$  of the correction memory 30 are read from Z value memory 25 and the correction memory 30, respectively (Step 220), these  $D_{11}$  and  $C_{11}$  that carried out reading appearance are added or subtracted with an adder subtractor (Step 230), and the index of the amendment Z value memory 33 writes the addition-and-subtraction result in the field which are  $i=1$  and  $j=1$  (Step 240).

[0044] Next, the index  $j$  is carried out  $+1$  and an index performs the same compensation process using  $D_{12}$  and  $C_{12}$  which are  $i=1$  and  $j=2$ .

[0045] Repeat execution is carried out one by one, \*\*\*\*\*ing an index one by one until the indexes  $i$  and  $j$  of an XY direction become  $i=L$  and  $j=M$  about such processing (Step 160).

[0046] Thus, the measurement data in which the error by a curvature of field was amended can be obtained.

[0047] Next, in drawing 1, the example in the case of operating the 2nd page of Z value memory 25 of the 2nd page, and operating the data selector 31 is described.

[0048] That is, there is a limitation in the size of the X-Y two-dimensional inspection plane by this confocal optical apparatus, and total [ of X-] Y field of the measured object 7 may be unable to be measured in one scan to the X-Y inspection plane mentioned above. In such a case, whenever one kind of scan to a X-Y inspection plane is completed, it is necessary to move the confocal optical apparatus itself in the direction of X-Y, and it is necessary to change the measured field of a measured object.

[0049] Since it is made to perform the compensation process by a curvature of field here in the procedure of drawing 2 using the data  $Z_{ij}$  which finished this peak processing after all peak processings are completed, Data cannot be inputted into Z value memory while a compensation process cannot be performed when Z value memory 25 faces one, suits and has inputted data into Z value memory 25 at the case, and performing the compensation process.

[0050] So, when preparing Z value memory the 2nd page and having inputted Z value data about the measured field B of the measured object 7 into one memory in this example. As data is read from the memory (Z value data of the measured field A of a measured object is already memorized) of another side and a curvature-of-field compensation process is performed, As reading-and-writing control is performed alternation and in parallel to the memory of the 2nd page, it enables it to perform data correction processing continuously.

[0051] Drawing 3 shows other examples of this invention, and it is made to perform peak value calculation processing and the compensation process of a curvature of field simultaneously in this example.

[0052] Therefore, Z value memory 25 shown in drawing 1 is deleted, and he subtracts and adds the amendment data of the output value of a Z-axis encoder, and the correction memory 30 directly, and is trying to select this addition-and-subtraction result by the data selector 35 with the adder subtracter 34 in drawing 3.

[0053] Hereafter, operation of the example of drawing 3 is explained with reference to the flow chart of drawing 4.

[0054] That is, if a system works, the stored data of the peak value memory 24 and the amendment Z value memory 33 will be cleared first, and each index i, j, and k will be cleared further (Step 300). Next, while \*\*\*\*\*ing each index i, j, and k to 1, respectively (Steps 310-320), the moving stage 8 is moved to the initial position corresponding to k= 1.

[0055] In this state, an index reads the output D11 of the photodetector of the photodetector array 9 which is  $i=j=1$  (Step 330), and compares this read data D11 with the stored data P11 of the peak value memory 24 with the same index with the comparator 23 (Step 340). And if the comparison result is  $D_{ij} > P_{ij}$ , the stored data  $P_{ij}$  of the index of the peak value memory 24 concerned will be updated with the output data  $D_{ij}$  (Step 350), and the data  $D_{ij}$  will be discarded at the time of  $D_{ij} \leq P_{ij}$ .

[0056] On the other hand, are parallel with the data update process of the peak value memory 24 at the time of this index being  $i=j=1$ , From the correction memory 30, the amendment data C11 whose index is  $i=j=1$  is read, and this amendment data C11 is subtracted and added with the output value of the Z-axis encoder 21 with the adder subtracter 34, and is inputted into the data selector 35.

[0057] As mentioned above in the data selector 35, when select signal SL from the comparator 23 is "1", (At the time of  $D_{ij} > P_{ij}$ ). an adder subtracter -- 34 -- an output -- Z -- correction value -- a memory -- 33 --  $i=j$  -- = -- one -- it is -- a storage area -- Z -- 11 -- ' -- outputting (Step 350) -- a select signal -- SL -- "zero" -- it is -- the time -- \*\*\*\* -- ( $D_{ij} \leq P_{ij}$  -- the time --) -- the Z-axis -- an encoder -- 21 -- an output -- discarding .

[0058] It repeats, \*\*\*\*\*ing an index one by one until the indexes i and j of an XY direction become  $i=L$  and  $j=M$  about such processing (Step 360).

[0059] Thus, after ending peak processing and correcting operation processing of photodetector 1 region ( $k= 1$ ) next, k is carried out +1 and processing of the next field ( $k= 2$ ) is performed similarly (Step 370).

[0060] Thus, after data processing of N region about a Z direction is completed,

peak processing and correcting operation processing will carry out the end of simultaneous, and the surface type-like data of the measured object 7 in which the error by a curvature of field was amended will be stored in the amendment Z value memory 33.

[0061] Drawing 5 shows another example of this invention, and in this example. He is trying to offset a curvature-of-field deviation by taking those deviations as compared with the nominal-contour data (data in which the shape of an ideal canonical form of a measured object is shown) in which the curvature-of-field deviation was similarly contained in the measurement data  $Z_{ij}$  in which the curvature-of-field deviation of the object lens was contained. For this reason, in this example, eventually, three-dimensional-shaped position data will not be obtained, but the reference deviation data from a reference value will be obtained.

[0062] In drawing 5, the photodetector array 9, the comparator 23, the peak value memory 24, the Z-axis encoder 21, the data selector 22, and Z value memory 25 function completely like what was shown in previous drawing 1.

[0063] The nominal-contour data  $E_{ij}$  which shows the shape of an ideal canonical form of a measured object to the nominal-contour memory 40 is beforehand memorized according to each Y-Y coordinates (according to index). However, the error data based on the curvature of field of the object lens used with this confocal optical apparatus is contained in this nominal-contour data.

[0064] In order to obtain the nominal-contour data which should be memorized in this nominal-contour memory 40, there are the following techniques.

[0065] (1) The measured object 7 used as a standard is actually measured with this three-dimensional shape measuring device, and let the measurement data then obtained be nominal-contour data. Of course in the case of this measurement, the compensation process by a curvature of field is not performed. That is, the curvature-of-field error is included in the measurement data obtained.

[0066] (2) Include the curvature-of-field error data obtained by the design simulation of the object lens in the designed value of the measured object used as a standard (adding), and convert this into the position data of 21 of a Z-axis encoder.

[0067] (3) Include the curvature-of-field error data obtained by prior actual measurement to the designed value of the measured object used as a standard (adding), and convert this into the position data of 21 of a Z-axis encoder.

[0068] By carrying out subtraction treatment of the nominal-contour data  $E_{ij}$  memorized by the surface type-like data  $Z_{ij}$  and the nominal-contour memory 40 of the measured object 7 in which the error by the curvature of field memorized by Z value memory 25 was included in the subtractor 45 for every index, Reference deviation data  $\sigma_{\text{mai}j}$  ( $=Z_{ij}-E_{ij}$ ) against which the curvature-of-field deviation was set off is computed, and this is inputted into the reference deviation memory 50.

[0069] The maximum  $R\text{MAX}_{ij}$  which can permit reference deviation data  $\sigma_{\text{mai}j}$  is beforehand memorized for every index by the muximum departure value memory 60. It may be made to set up a different value for every index as these allowable maximums  $R\text{MAX}_{ij}$ , or may be made to set up the same value altogether.

[0070] The minimum  $R\text{MIN}_{ij}$  which can permit reference deviation data  $\sigma_{\text{mai}j}$  is beforehand memorized for every index by the minimum deviation value memory 65.

It may be made to set up a different value for every index as these permission minimum  $RMIN_{ij}$ , or may be made to set up the same value altogether.

[0071]The mask signal  $M_{ij}$  for determining whether perform comparison processing in the window comparator 75 is memorized, and this mask memory 70 is used for the mask memory 70 in order to obtain the data of only the necessary portion of a measured object selectively. For example, when the mask signal  $M_{ij}$  is "0", comparison processing in the window comparator 75 is performed, and when the mask signal  $M_{ij}$  is "1", the comparison processing in the window comparator 75 is skipped.

[0072]In the window comparator 75, reference deviation data  $\sigma_{maj}$   $RMAX_{ij}$ , As compared with  $RMIN_{ij}$ , the  $J_{ij}$  signal "0" which shows good at the time of  $RMIN_{ij} < Z_{ij} < RMAX_{ij}$  is outputted, the  $J_{ij}$  signal "1" which shows a defect at the time of  $RMIN_{ij} \geq Z_{ij}$  is outputted, and the  $J_{ij}$  signal "2" which shows a defect at the time of  $RMAX_{ij} \leq Z_{ij}$  is outputted.

[0073]The window comparator 75 outputs the  $J_{ij}$  signal "4" which shows that it is skipping in the index area where the mask signal  $M_{ij}$  skips comparison processing by "1."

[0074]The judgment memory 80 memorizes the output signal  $J_{ij}$  of the window comparator 75 to each index area. Therefore, it can be clearly known by referring to the stored data of the judgment memory 80 where the faulty point of a work is, whether a defect is short measurement, and whether it is excess of a size.

[0075]Hereafter, operation of composition of being shown in drawing 5 is explained with reference to the flow chart of drawing 6. The flow chart of drawing 6 explains the operation after reference deviation  $\sigma_{maj}$  was stored in the reference deviation memory 50.

[0076]In this case, operation until the formed data of the measured object 7 is stored in Z value memory 25 is the same as that of the example of previous drawing 1, and that explanation is omitted.

[0077]By carrying out subtraction treatment of the nominal-contour data  $E_{ij}$  memorized by the surface type-like data  $Z_{ij}$  and the nominal-contour memory 40 of the measured object 7 in which the error by the curvature of field memorized by Z value memory 25 was included in the subtractor 45 for every index, Reference deviation data  $\sigma_{maj}$  ( $=Z_{ij}-E_{ij}$ ) against which the curvature-of-field deviation was set off is computed, and this is inputted into the reference deviation memory 50 one by one.

[0078]Thus, reference deviation data  $\sigma_{maj}$  is memorized in each index area of the reference deviation memory 50.

[0079]In this state, each index  $i$  and  $j$ , are cleared first, next each indexes  $i$  and  $j$  are \*\*\*\*\*ed to 1, respectively (drawing 6 steps 400 and 410).

[0080]Reference deviation  $\sigma_{11}$  whose an index is  $i=j=1$  is read from the reference deviation memory 50, and it is inputted into the window comparator 75,  $M_{11}$ ,  $RMAX_{11}$ , and  $RMIN_{11}$  whose an index is  $i=j=1$  are read from the mask memory 70, the muximum departure value memory 60, and the minimum deviation value memory 65, respectively, and it is inputted into the window comparator 75.

[0081]When the mask signal  $M_{11}$  is "1", the window comparator 75 carries out "4" of the output  $J_{ij}$ , and memorizes this to the field whose index of the judgment

memory 80 is  $i=j=1$  (Step 440).

[0082]When the mask signal M11 of the window comparator 75 is "0", Reference deviation  $\sigma_{11}$  is compared with a maximum-permissible value and the minimum acceptable values RMAX11 and RMIN11, The Jij signal "0" which shows good at the time of  $RMIN_{ij} < Z_{ij} < RMAX_{ij}$  is outputted, The Jij signal "1" which shows a defect at the time of  $RMIN_{ij} \geq Z_{ij}$  is outputted, the Jij signal "2" which shows a defect at the time of  $RMAX_{ij} \leq Z_{ij}$  is outputted, and this is memorized to the field whose index of the judgment memory 80 is  $i=j=1$  (Step 430).

[0083]It repeats, \*\*\*\*\*ing an index one by one until the indexes i and j of an XY direction become  $i=L$  and  $j=M$  about such processing (Step 450).

[0084]Thus, peak processing of the measured object 7, correcting operation processing, and inspection processing are ended.

[0085]It may be made to perform inspection processing as shown in drawing 5 using the composition of drawing 3. In this case, the correction memory 30 of drawing 3 is substituted for the nominal-contour memory 40 of drawing 5, As what is necessary is just to have substituted the amendment Z value memory 33 of drawing 3 for the reference deviation memory 50 of drawing 5, and the reference deviation memory 50 of drawing 5 is prepared the 2nd page and mentioned above, When having inputted reference deviation  $\sigma_{mij}$  into one memory, As reference deviation  $\sigma_{mij}$  is read from the memory of another side and inspection processing is performed, As reading-and-writing control is performed alternation and in parallel to the memory of the 2nd page, it may be made to give continuity to data processing when total [ of X-] Y field of the measured object 7 is immeasurable in one X-Y scan to a X-Y inspection plane.

[0086]When the faulty point more than the number set up beforehand is discovered, inspection processing is stopped, and it may be made to judge that the measured object (work) is poor in the above-mentioned inspection processing.

[0087]That it should correspond to the inspection processing of several different works, two or more the nominal-contour memory 40, maximum departure value memories 60, minimum deviation value memories 65, and mask memories 70 are prepared corresponding to each work, these are switched, and it may be made to use.

[0088]It may be made to conduct the excellent article poor inspection of a measured object, measuring the output of drawing 1 or the amendment Z value memory 33 of drawing 3 with a maximum-permissible value and the minimum acceptable value.

[0089]Although a data selector, an adder subtracter, etc. are formed and hardware was made to perform various kinds of data processing in the example, the software processing in a host computer may be made to perform these all.

[0090]It may be made to conduct shape inspection of an article by performing [ measurement value  $Z_{ij}$  ' of the work which amended the curvature of field of the object lens ] conducts matching for excellent article formed data using a normalized correlation function. In this case, since the curvature-of-field compensation process of the object lens is performed, it is lost that a measurement value changes with X-Y positions on which the work was put, the accuracy of conducts matching also improves, and a high-precision inspection can

be conducted by extension.

[0091]since in the case of gate reading systems, such as an MOS type, the photodetector array 9 carries out reading appearance of the electric charge accumulated in each photodetector one by one and goes by a raster scan, When the output of each photodetector is sampled one by one as mentioned above, displacing the moving stage 8 to a Z direction, the time which has an electric charge read for every photodetector will differ, and, for this reason, Z positions will differ for every photodetector. Therefore, while carrying out a certain peak processing of the 1st page, if the output of a Z-axis encoder is sampled or amended so that it may become the same Z value, highly precise measurement can be made. In the case of the photodetector array 9 which incidentally has a stored charge transmit buffer like CCD, the above problems are not generated. Although the encoder was used as a position detecting means of a Z direction in the above-mentioned example, it may be made for other arbitrary detecting mechanisms to detect a Z direction position.

[0092]Although the object lens which constitutes telecentric system was used for the confocal optical system in the above-mentioned example, it may be made to apply this invention to the confocal optical system which has an object lens of non-telecentric system.

[0093]Although it was made to change the relative position of the condensing position and measured object along the optical axis direction of said confocal optical apparatus of the spot light irradiated by the measured object by moving a measured object to a Z direction by Z shaft movement stage 8 one by one in the above-mentioned example, The measured object 7 is fixed, and it may be made to move the object lens 5a or 5b to a Z direction, and may be made to move the confocal optical system itself to a Z direction further.

[0094]Although it was made to make shape of the basic array of a point light source array (pinhole array PH1) and the photodetector array 9 into the square matrix in the above-mentioned example, For example, it may be made to make a basic array into the shape of a hexagon, or triangular shape, and may be made to use what has arranged the point light source and each photodetector to one dimension further.

[0095]It may be made for what [ not only ] was shown in previous drawing 7 but arbitrary composition to be used for the confocal optical system which applies this invention. For example, a hologram is used for Japanese Patent Application No. No. 247658 [ seven to ] as a means to generate a light equivalent to two or more point light source lights generated from pinhole array PH1 shown in drawing 7, What has arranged this hologram in the arbitrary positions within a confocal optical system, and pinhole array PH2 which are shown in drawing 7 are shared by pinhole array PH1, The half mirror 4 is deleted, what allocated the photodetector array 9 between pinhole array PH1 and the lens 3 is shown, and it may be made to apply this invention to such a confocal optical apparatus.

[0096]

[Effect of the Invention]Since curvature-of-field amendment data amended the surface type-like data of the measured object obtained by the three-dimensional shape measurement according to this invention as explained above, a curvature-

of-field error is amended and, thereby, the accuracy of measurement data can be raised.

[0097] According to this invention, it asks for a deviation with the nominal-contour data (the curvature-of-field error by an object lens is included in this nominal-contour data) in which the nominal contour of the surface type-like data of a measured object and a measured object obtained by the three-dimensional shape measurement is shown. Since this deviation was used as reference deviation data, a part for the curvature-of-field error of an object lens is offset, and the accuracy of shape inspection can be raised.

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-178446

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/24	1 0 1		G 0 1 B 11/24	1 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平7-337433

(22) 出願日 平成7年(1995)12月25日

(71) 出願人 000001236

株式会社小松製作所

東京都港区赤坂二丁目3番6号

(72) 発明者 守屋 正人

神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所研究所内

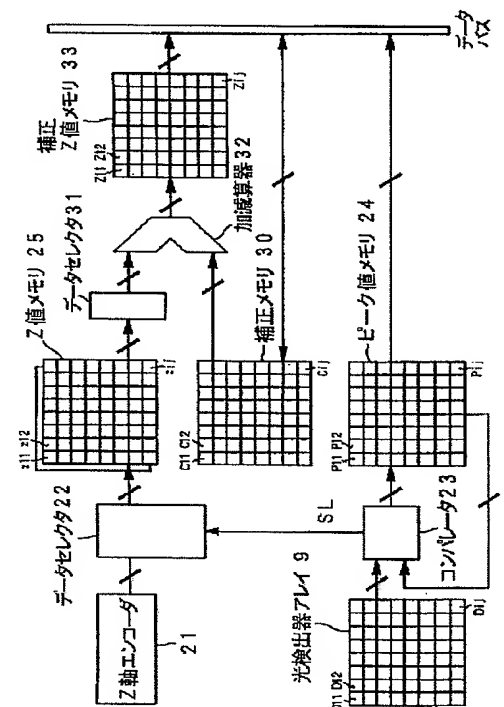
(74) 代理人 弁理士 木村 高久

(54) 【発明の名称】 3次元形状計測装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 共焦点光学系に含まれる対物レンズの像面湾曲を考慮して3次元計測データを補正することにより高精度の3次元計測を実現する。

【解決手段】 複数の点光源から発生された光を対物レンズでスポット光に集光して被計測物体に照射し、被計測物体からの反射散乱光を複数の光検出器が配列された光検出器アレイで受光するよう構成された共焦点光学装置と、被計測物体に照射されるスポット光の共焦点光学装置の光軸方向に沿った集光位置と被計測物体との相対位置を順次変化させる相対移動手段と、被計測物体の共焦点光学装置に対する前記光軸方向位置を検出する位置検出手段と、対物レンズの像面湾曲の補正データが記憶される像面湾曲補正メモリ手段と、3次元形状計測手段によって得られた被計測物体の表面形状データを像面湾曲補正メモリに記憶された補正データによって補正する補正手段とを具える。





## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】複数の点光源から発生された光を対物レンズでスポット光に集光して被計測物体に照射し、被計測物体からの反射散乱光を複数の光検出器が配列された光検出器アレイで受光するよう構成された共焦点光学装置と、前記被計測物体に照射されるスポット光の前記共焦点光学装置の光軸方向に沿った集光位置と被計測物体との相対位置を順次変化させる相対移動手段と、前記被計測物体の共焦点光学装置に対する前記光軸方向位置を検出する位置検出手段と、前記相対移動手段によるスポット光位置と被計測物体の相対位置の移動に伴って前記光検出器アレイの各光検出器の検出出力を順次サンプリングし、各光検出器の受光出力が最大になったときの前記位置検出手段の検出出力を被計測物体の表面位置として計測する 3 次元形状計測手段とを有する 3 次元形状計測装置において、

前記対物レンズの像面湾曲の補正データが記憶される像面湾曲補正メモリ手段と、

前記 3 次元形状計測手段によって得られた被計測物体の表面形状データを前記像面湾曲補正メモリに記憶された補正データによって補正する補正手段とを、  
を具える 3 次元形状計測装置。

【請求項 2】複数の点光源から発生された光を対物レンズでスポット光に集光して被計測物体に照射し、被計測物体からの反射散乱光を複数の光検出器が配列された光検出器アレイで受光するよう構成された共焦点光学装置と、前記被計測物体に照射されるスポット光の前記共焦点光学装置の光軸方向に沿った集光位置と被計測物体との相対位置を順次変化させる相対移動手段と、前記被計測物体の共焦点光学装置に対する前記光軸方向位置を検出する位置検出手段と、前記相対移動手段によるスポット光位置と被計測物体の相対位置の移動に伴って前記光検出器アレイの各光検出器の検出出力を順次サンプリングし、各光検出器の受光出力が最大になったときの前記位置検出手段の検出出力を被計測物体の表面位置として計測する 3 次元形状計測手段とを有する 3 次元形状計測装置において、

前記対物レンズの像面湾曲誤差分を含み、前記被計測物体の基準形状を示す基準形状データが記憶される基準形状データメモリ手段と、

前記 3 次元形状計測手段によって得られた被計測物体の表面形状データと前記基準形状メモリ手段に記憶された基準形状データとの偏差を求めることにより前記対物レンズの像面湾曲誤差が相殺された基準偏差データを出力する基準偏差演算手段と、  
を具える 3 次元形状計測装置。

【請求項 3】前記相対移動手段は、被計測物体を共焦点光学装置の光軸方向に沿って移動するものである請求項 1 または 2 記載の 3 次元形状計測装置。

【請求項 4】前記相対移動手段は、共焦点光学装置をそ

の光軸方向に沿って移動するものである請求項 1 または 2 記載の 3 次元形状計測装置。

【請求項 5】前記相対移動手段は、共焦点光学装置の対物レンズをその光軸方向に沿って移動するものである請求項 1 または 2 記載の 3 次元形状計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は共焦点光学系を利用した 3 次元形状計測装置によって得られた被計測物体の表面形状データを対物レンズの像面湾曲を考慮して補正するようにした 3 次元形状計測装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】半導体製造部品の形状検査などのように物体の形状を測定する技術としては、例えば特開平 4-265918 号公報に示すように、共焦点光学系を 2 次元的に配置したものがあり、図 7 にその構成を示す。

【0003】図 7 において、光源 1 の光はレンズ 2、3 を介して平行光となりピンホールアレイ PH1 に入射される。ピンホールアレイ PH1 は、ピンホールが X-Y 方向にマトリックス状に配設されたものである。ピンホールアレイ PH1 を通過した光はハーフミラー 4 を透過し、開口絞り 6 によってテレセントリック系を構成する対物レンズ 5a、5b によって集光され、被計測物体 7 に投光される。被計測物体 7 は Z 軸方向に変位可能な移動ステージ 8 上に載置されている。被計測物体 7 で反射散乱された光は対物レンズ 5a、5b で集光され、ハーフミラー 4 で反射され、ピンホールアレイ PH1 と共役な位置に結像する。この結像位置にピンホールアレイ PH2 を配設し、ピンホールを通過する光を光検出器アレイ 9 の各光検出器で検出する。

【0004】かかる構成によれば、移動制御部 10 によって移動ステージ 8 を Z 方向に変位させながら、3 次元計測部 20 で光検出器アレイの 9 の個々の光検出器の出力を別々にサンプリングし、各々の光検出器の出力が最大になったときの Z 方向位置を物体 7 の表面位置として検出することができる（ピーク処理）。

【0005】なお、この場合、被計測物体 7 を固定し、対物レンズ 5a あるいは 5b を Z 方向に移動するようにしてもよいし、さらには共焦点光学系自体を Z 方向に移動するようにしてもよい。

【0006】図 8 は光検出器アレイ 9 の各光検出器の出力をピーク処理する 3 次元計測部 20 の内部構成を示すものである。

【0007】図 8 において、Z 軸エンコーダ 21 は、Z 軸移動機構（この場合は Z 軸移動ステージ 8）の Z 方向の位置を検出するもので、検出した位置データをデータセレクタ 22 に入力する。

【0008】一方、光検出器アレイ 9 の各光検出器の出力  $D_{ij}$  ( $1 \leq i \leq L$ ,  $1 \leq j \leq M$ ) は、そのインデックス順にコンパレータ 23 に入力される。コンパレータ 2

3は、入力された光検出器の出力 $D_{ij}$ を、ピーク値メモリ24に記憶された同じインデックスを持つピーク値データ $P_{ij}$ と比較し、 $D_{ij} > P_{ij}$ であればその出力データ $D_{ij}$ でピーク値メモリ24の当該インデックスの記憶データ $P_{ij}$ を更新し、 $D_{ij} \leq P_{ij}$ であればそのデータ $D_{ij}$ は廃棄する。なお、コンパレータ23からデータセクタ22に対しては、 $D_{ij} > P_{ij}$ のときに「1」となり、 $D_{ij} \leq P_{ij}$ のときに「0」となるセレクト信号SLが出力される。

【0009】ピーク値メモリ24には、最終的には、被計測物体7のZ方向走査に対応して変化する光検出器アレイ9の各光検出器の出力のうちの最大値（ピーク値）がそれぞれ記憶される。

【0010】データセクタ22は、コンパレータ23からのセレクト信号SLが「1」のときには（ $D_{ij} > P_{ij}$ のとき）、Z軸エンコーダ21の出力をZ値メモリ25に出力し、セレクト信号SLが「0」のときには（ $D_{ij} \leq P_{ij}$ のとき）、Z軸エンコーダ21の出力を廃棄するよう動作するものである。

【0011】Z値メモリ25には、最終的には、光検出器アレイ9の各光検出器の出力が最大値（ピーク値）となったときのZ方向位置データがそれぞれ記憶される。

【0012】以下、上記図8に示した構成の動作を図9のフローチャートを参照して説明する。

【0013】なお、この場合、3次元（XYZ方向）の走査に対応して、X方向にはインデックス $i$ （ $1 \leq i \leq L$ ）を持ち、Y方向にはインデックス $j$ （ $1 \leq j \leq M$ ）を持ち、Z方向にはインデックス $k$ （ $1 \leq k \leq N$ ）を持つようにしている。

【0014】まず、システムを稼働すると共に、ピーク値メモリ24およびZ値メモリ25の記憶データをクリアし、さらに各インデックス $i$ 、 $j$ 、 $k$ をクリアする（ステップ100）。次に、各インデックス $i$ 、 $j$ 、 $k$ をそれぞれ1にインクリメントするとともに（ステップ110～120）、移動ステージ8を $k=1$ に対応する初期位置に移動する。

【0015】この状態で、光検出器アレイ9の各光検出器の出力 $D_{ij}$ をインデックス順に順次読み出し、コンパレータ23で同じインデックスを持つピーク値データ $P_{ij}$ とそれぞれ比較する（ステップ130、140）。そして、その比較結果が $D_{ij} > P_{ij}$ であれば、その出力データ $D_{ij}$ でピーク値メモリ24の当該インデックスの記憶データ $P_{ij}$ を更新するとともに、そのときのZ軸エンコーダ21の出力値でZ値メモリ25の当該インデックスの記憶データ $P_{ij}$ を更新する（ステップ150）。しかし、上記比較結果が $D_{ij} \leq P_{ij}$ のときにはそのデータ $D_{ij}$ を廃棄するとともに、Z軸エンコーダ21の出力値も廃棄する。

【0016】このような処理をXY方向のインデックス $i$ 、 $j$ が $i=L$ 、 $j=M$ になるまでインデックスを順次

インクリメントしながら繰り返す（ステップ160）。

【0017】このようにして光検出器1面分（ $k=1$ ）のデータ処理を終了すると、次に、 $k$ を+1し、次の面（ $k=2$ ）の処理を同様にして実行する（ステップ170）。

【0018】このようにして、Z方向についてのN面分のデータ処理が終了すると、ピーク処理が終了し、Z値メモリ25には被計測物体7の表面形状データがストアされ、またピーク値メモリ24には光検出器アレイ9の各光検出器のピーク値がストアされることになる。

【0019】上記Z値メモリ25にストアされた被計測物体7の表面形状データは、その後、データベースを介してホスト計算機のメモリに転送される。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】ところで、図7に示した共焦点光学系は対物レンズ5a、5bを有しているために、上記のようにして得られた被計測物体7の表面形状データには、対物レンズ5a、5bの像面湾曲による誤差分が含まれている。すなわち、像面湾曲とは、図10に示すように、対物レンズ5bの湾曲によって、図8のピンホールアレイPH1の平面像が検査面に対して湾曲して結像する現象をいい、このため、たとえ被検査面に平面の被計測物体を置いたとしても、検査面のXY位置によって異なる計測値が得られる。すなわち、平面の被計測物体を平面物体としては計測することはできない。

【0021】このように従来装置においては、共焦点光学系に含まれる対物レンズの像面湾曲を考慮してはいなかったため、精度の高い3次元計測又は検査をなし得なかった。

【0022】この発明はこのような実情に鑑みてなされたもので、共焦点光学系に含まれる対物レンズの像面湾曲を考慮して3次元計測データを補正することにより高精度の3次元計測を実現する3次元形状計測装置を提供することを目的とする。

【0023】

【課題を解決するための手段】この発明では、複数の点光源から発生された光を対物レンズでスポット光に集光して被計測物体に照射し、被計測物体からの反射散乱光を複数の光検出器が配列された光検出器アレイで受光するよう構成された共焦点光学装置と、前記被計測物体に照射されるスポット光の前記共焦点光学装置の光軸方向に沿った集光位置と被計測物体との相対位置を順次変化させる相対移動手段と、前記被計測物体の共焦点光学装置に対する前記光軸方向位置を検出する位置検出手段と、前記相対移動手段によるスポット光位置と被計測物体の相対位置の移動に伴って前記光検出器アレイの各光検出器の検出出力を順次サンプリングし、各光検出器の受光出力が最大になったときの前記位置検出手段の検出出力を被計測物体の表面位置として計測する3次元形状

計測手段とを有する3次元形状計測装置において、前記対物レンズの像面湾曲の補正データが記憶される像面湾曲補正メモリ手段と、前記3次元形状計測手段によって得られた被計測物体の表面形状データを前記像面湾曲補正メモリに記憶された補正データによって補正する補正手段とを有するようにしている。

【0024】かかる発明によれば、3次元形状計測手段によって得られた被計測物体の表面形状データを像面湾曲補正データによって補正するようにして、3次元形状計測の計測精度を向上させる。

【0025】またこの発明では、複数の点光源から発生された光を対物レンズでスポット光に集光して被計測物体に照射し、被計測物体からの反射散乱光を複数の光検出器が配列された光検出器アレイで受光するよう構成された共焦点光学装置と、前記被計測物体に照射されるスポット光の前記共焦点光学装置の光軸方向に沿った集光位置と被計測物体との相対位置を順次変化させる相対移動手段と、前記被計測物体の共焦点光学装置に対する前記光軸方向位置を検出する位置検出手段と、前記相対移動手段によるスポット光位置と被計測物体の相対位置の移動に伴って前記光検出器アレイの各光検出器の検出出力を順次サンプリングし、各光検出器の受光出力が最大になったときの前記位置検出手段の検出出力を被計測物体の表面位置として計測する3次元形状計測手段とを有する3次元形状計測装置において、前記対物レンズの像面湾曲誤差分を含み、前記被計測物体の基準形状を示す基準形状データが記憶される基準形状データメモリ手段と、前記3次元形状計測手段によって得られた被計測物体の表面形状データと前記基準形状メモリ手段に記憶された基準形状データとの偏差を求めることにより前記対物レンズの像面湾曲誤差が相殺された基準偏差データを出力する基準偏差演算手段とを有するようにしている。

【0026】かかる発明によれば、3次元形状計測手段によって得られた被計測物体の表面形状データと被計測物体の基準形状を示す基準形状データ（この基準形状データには対物レンズによる像面湾曲誤差が含まれている）との偏差を求めることにより前記対物レンズの像面湾曲誤差分を相殺する。

【0027】

【発明の実施の形態】以下この発明の実施例を添付図面に従って詳細に説明する。

【0028】図1はこの発明の実施例を示すもので、先の図8に示した従来技術と同じ構成要素については同一符号を付している。

【0029】図1において、光検出器アレイ9、コンパレータ23、ピーク値メモリ24、Z軸エンコーダ21、データセクタ22、Z値メモリ25は、先の図8の場合と同様に動作し、重複する説明は省略する。また、この場合、Z値メモリ25を2面用意するようにしているが、以下に説明する実施例では1面のみしか機能

させてしない。また、Z値メモリ25の後段側に設けられたデータセクタ31も機能させてはならず、Z値メモリ25の出力はそのまま加減算器32に入力される。

【0030】補正メモリ30には、対物レンズの像面湾曲による誤差分を補正するための補正データ $C_{ij}$ が、X-Y方向の各位置（各インデックス）毎にあらかじめ記憶されている。

【0031】この補正データを得るためには次のような手法がある。

10 【0032】(1)被計測物体7として理想的な平面で構成される平面ミラー等を実際に計測し、像面湾曲による誤差が含まれた平面ミラーの表面形状に関する計測データを得る。この場合の計測データ（Z値）は全て同じとなるはずであるので、そうではない計測データは像面湾曲による誤差を含んでいることになる。したがって、ホスト計算機を用いて、前記計測データから像面湾曲による偏差分（正常値-計測データ）を各X-Y位置毎に算出し、これを補正データとする。

20 (2)対物レンズの設計シミュレーションによって像面湾曲による誤差を各X-Y位置毎に算出し、この誤差をZ軸エンコーダの位置データに換算した結果を補正データとする。

【0033】加減算器31は、Z値メモリ25に記憶されたZ値（即ち像面湾曲による誤差が含まれた計測データ） $Z_{ij}$ と補正メモリ30に予記憶された補正データ $C_{ij}$ とを加算または減算することによりZ値を各インデックス毎に補正し、その補正結果を補正Z値メモリ33に入力する。

30 【0034】補正Z値メモリ33は、像面湾曲誤差が補正されたZ値 $Z_{ij}'$ を記憶し、その記憶データ $Z_{ij}'$ をデータバスを介してホスト計算機に出力する。

【0035】かかる図1に示す構成の動作を、図2に示すフローチャートを参照して説明する。

【0036】なお、図2のフローチャートにおけるステップ100～ステップ170の手順は、先の図10に示したステップ100～ステップ170の手順と全く同じである。

【0037】すなわち、システムが稼働されると、まずピーク値メモリ24およびZ値メモリ25の記憶データをクリアし、さらに各インデックス $i, j, k$ をクリアする（ステップ100）。次に、各インデックス $i, j, k$ をそれぞれ1にインクリメントするとともに（ステップ110～120）、移動ステージ8を $k=1$ に対応する初期位置に移動する。

【0038】この状態で、光検出器アレイ9の各光検出器の出力 $D_{ij}$ をインデックス順に順次読み出し、コンパレータ23で同じインデックスを持つピーク値データ $P_{ij}$ とそれぞれ比較する（ステップ130、140）。そして、その比較結果が $D_{ij} > P_{ij}$ であれば、その出力データ $D_{ij}$ でピーク値メモリ24の当該インデックスの記

憶データ $P_{ij}$ を更新するとともに、そのときのZ軸エンコーダ21の出力値でZ値メモリ25の当該インデックスの記憶データ $P_{ij}$ を更新する(ステップ150)。しかし、上記比較結果が $D_{ij} \leq P_{ij}$ のときにはそのデータ $D_{ij}$ を廃棄するとともに、Z軸エンコーダ21の出力値も廃棄する。

【0039】このような処理をXY方向のインデックス $i, j$ が $i=L, j=M$ になるまでインデックスを順次インクリメントしながら繰り返す(ステップ160)。

【0040】このようにして光検出器1面分( $k=1$ )のデータ処理を終了すると、次に、 $k$ を+1し、つぎの面( $k=2$ )の処理を同様にして実行する(ステップ170)。

【0041】このようにして、Z方向についてのN面分のデータ処理が終了すると、ピーク処理が終了し、Z値メモリ25には像面湾曲による誤差が含まれた被計測物体7の表面形状データがストアされ、またピーク値メモリ24には光検出器アレイ9の各光検出器のピーク値がストアされることになる。

【0042】次に、まず、インデックス $i, j$ をクリアした後(ステップ200)、各インデックス $i, j$ をそれぞれ1にインクリメントする(ステップ210)。

【0043】この状態で、Z値メモリ25および補正メモリ30からインデックス $i=1, j=1$ である光検出器アレイ9の光検出器の出力 $D_{11}$ および補正メモリ30の補正データ $C_{11}$ とをそれぞれ読み出し(ステップ220)、これら読み出した $D_{11}$ および $C_{11}$ を加減算器で加算又は減算し(ステップ230)、その加減算結果を補正Z値メモリ33のインデックスが $i=1, j=1$ である領域に書き込む(ステップ240)。

【0044】次に、インデックス $j$ を+1し、インデックスが $i=1, j=2$ である $D_{12}$ および $C_{12}$ を用いて同様の補正処理を実行する。

【0045】このような処理をXY方向のインデックス $i, j$ が $i=L, j=M$ になるまでインデックスを順次インクリメントしながら順次繰り返し実行する(ステップ160)。

【0046】このようにして、像面湾曲による誤差が補正された計測データを得ることができる。

【0047】次に、図1において、2面のZ値メモリ25を2面とも機能させ、かつデータセクタ31を機能させる場合の実施例について説明する。

【0048】すなわち、本共焦点光学装置によるX-Y 2次元検査平面のサイズには限りがあり、上述したX-Y検査平面に対する1回の走査では、被計測物体7の全X-Y領域を計測できない場合がある。このような場合には、X-Y検査平面に対する1通りの走査が終了する度に、共焦点光学装置自体をX-Y方向に移動し、被計測物体の被計測領域を変えていく必要がある。

【0049】ここで、図2の処理手順では、ピーク処理

が全て終了した後、このピーク処理を終えたデータ $Z_{ij}$ を用いて像面湾曲による補正処理を実行するようにしている。Z値メモリ25が1面しかない場合には、Z値メモリ25にデータを入力しているときには補正処理を実行することができず、また補正処理を実行しているときにはZ値メモリにデータを入力することはできない。

【0050】そこで、この実施例では、Z値メモリを2面用意し、一方のメモリに被計測物体7の被計測領域BについてのZ値データを入力しているときには、他方のメモリ(被計測物体の被計測領域AのZ値データが既に記憶されている)からデータを読み出して像面湾曲補正処理を実行するというように、2面のメモリに対して交互かつ並列に読み書き制御を実行させるようにして、連続的にデータ補正処理が行えるようにしている。

【0051】図3はこの発明の他の実施例を示すもので、この実施例では、ピーク値算出処理と、像面湾曲の補正処理を同時に行うようにしている。

【0052】そのため、図3においては、図1に示したZ値メモリ25を削除し、加減算器34によってZ軸エンコーダの出力値と補正メモリ30の補正データを直接加減算し、この加減算結果をデータセクタ35でセレクトするようにしている。

【0053】以下、図3の実施例の動作を図4のフローチャートを参照して説明する。

【0054】すなわち、システムが稼働されると、まずピーク値メモリ24および補正Z値メモリ33の記憶データをクリアし、さらに各インデックス $i, j, k$ をクリアする(ステップ300)。次に、各インデックス $i, j, k$ をそれぞれ1にインクリメントするとともに(ステップ310~320)、移動ステージ8を $k=1$ に対応する初期位置に移動する。

【0055】この状態で、インデックスが $i=j=1$ である光検出器アレイ9の光検出器の出力 $D_{11}$ を読み出し(ステップ330)、コンパレータ23でこの読み出したデータ $D_{11}$ を同じインデックスをもつピーク値メモリ24の記憶データ $P_{11}$ と比較する(ステップ340)。そして、その比較結果が $D_{ij} > P_{ij}$ であれば、その出力データ $D_{ij}$ でピーク値メモリ24の当該インデックスの記憶データ $P_{ij}$ を更新し(ステップ350)、 $D_{ij} \leq P_{ij}$ のときにはそのデータ $D_{ij}$ を廃棄する。

【0056】一方、このインデックスが $i=j=1$ の際のピーク値メモリ24のデータ更新処理に並行して、補正メモリ30からはインデックスが $i=j=1$ である補正データ $C_{11}$ が読み出され、この補正データ $C_{11}$ が加減算器34でZ軸エンコーダ21の出力値と加減算され、データセクタ35に入力される。

【0057】データセクタ35では、前述したように、コンパレータ23からのセレクト信号 $SL$ が「1」のときには( $D_{ij} > P_{ij}$ のとき)、加減算器の34の出

力をZ補正值メモリ33の $i=j=1$ である記憶エリアZ11'に出力し(ステップ350)、セレクト信号SLが「0」のときには( $Dij \leq Pij$ のとき)、Z軸エンコーダ21の出力を廃棄する。

【0058】このような処理をXY方向のインデックス $i, j$ が $i=L, j=M$ になるまでインデックスを順次インクリメントしながら繰り返す(ステップ360)。

【0059】このようにして光検出器1面分( $k=1$ )のピーク処理及び補正演算処理を終了すると、次に、 $k$ を+1し、次の面( $k=2$ )の処理を同様にして実行する(ステップ370)。

【0060】このようにして、Z方向についてのN面分のデータ処理が終了すると、ピーク処理および補正演算処理が同時終了し、補正Z値メモリ33には像面湾曲による誤差が補正された被計測物体7の表面形状データがストアされることになる。

【0061】図5はこの発明の更に別の実施例を示すもので、この実施例では、対物レンズの像面湾曲偏差が含まれた計測データ $Zij$ を、同様に像面湾曲偏差が含まれた基準形状データ(被計測物体の理想的な標準形状を示すデータ)と比較し、それらの偏差をとることにより、像面湾曲偏差を相殺するようにしている。このため、この実施例では、最終的には、3次元形状の位置データが得られるのではなく、基準値からの基準偏差データが得られることになる。

【0062】図5において、光検出器アレイ9、コンパレータ23、ピーク値メモリ24、Z軸エンコーダ21、データセレクト22、およびZ値メモリ25は先の図1に示したものと全く同様に機能する。

【0063】基準形状メモリ40には、被計測物体の理想的な標準形状を示す基準形状データ $Eij$ が各Y-Y座標別に(インデックス別に)予め記憶されている。ただし、この基準形状データには、本共焦点光学装置で用いる対物レンズの像面湾曲による誤差データが含まれている。

【0064】この基準形状メモリ40に記憶すべき基準形状データを得るためには次のような手法がある。

【0065】(1)基準となる被計測物体7を本3次元形状計測装置によって実際に計測し、そのとき得られた計測データを基準形状データとする。もちろんこの計測の際には、像面湾曲による補正処理は行わない。すなわち、得られる計測データには、像面湾曲誤差が含まれている。

【0066】(2)基準となる被計測物体の設計値に、対物レンズの設計シュミレーションによって得られた像面湾曲誤差データを含ませ(加算し)、これをZ軸エンコーダの21の位置データに換算する。

【0067】(3)基準となる被計測物体の設計値に対し、事前の実際の計測によって得られた像面湾曲誤差データを含ませ(加算し)、これをZ軸エンコーダの21

の位置データに換算する。

【0068】減算器45では、Z値メモリ25に記憶された像面湾曲による誤差が含まれた被計測物体7の表面形状データ $Zij$ と基準形状メモリ40に記憶された基準形状データ $Eij$ をインデックス毎に減算処理することにより、像面湾曲偏差が相殺された基準偏差データ $\sigma ij (=Zij-Eij)$ を算出し、これを基準偏差メモリ50に入力する。

【0069】最大偏差値メモリ60には、基準偏差データ $\sigma ij$ の許容できる最大値 $RMAXij$ が各インデックス毎に予め記憶されている。これら許容最大値 $RMAXij$ としては、各インデックス毎に異なる値を設定するようにしてもよく、あるいは全て同一値を設定するようにしてもよい。

【0070】最小偏差値メモリ65には、基準偏差データ $\sigma ij$ の許容できる最小値 $RMINij$ が各インデックス毎に予め記憶されている。これら許容最小値 $RMINij$ としては、各インデックス毎に異なる値を設定するようにしてもよく、あるいは全て同一値を設定するようにしてもよい。

【0071】マスクメモリ70には、ウィンドウコンパレータ75での比較処理を行うか否かを決定するためのマスク信号 $Mij$ が記憶されており、このマスクメモリ70は被計測物体の所要の部分のみのデータを選択的に得るために用いられる。例えば、マスク信号 $Mij$ が「0」のときにはウィンドウコンパレータ75での比較処理が行われ、マスク信号 $Mij$ が「1」のときにはウィンドウコンパレータ75での比較処理はスキップされる。

【0072】ウィンドウコンパレータ75では、基準偏差データ $\sigma ij$ を $RMAXij$ 、 $RMINij$ と比較し、 $RMINij < Zij < RMAXij$ のとき良を示す $Jij$ 信号『0』を出力し、 $RMINij \geq Zij$ のとき不良を示す $Jij$ 信号『1』を出力し、 $RMAXij \leq Zij$ のとき不良を示す $Jij$ 信号『2』を出力する。

【0073】なお、ウィンドウコンパレータ75は、マスク信号 $Mij$ が「1」で比較処理をスキップするインデックス領域では、スキップしていることを示す $Jij$ 信号『4』を出力する。

【0074】判定メモリ80は、ウィンドウコンパレータ75の出力信号 $Jij$ を各インデックス領域に記憶する。したがって、判定メモリ80の記憶データを参照することにより、ワークの不良箇所が何処にあるのか、不良が寸法不足であるのか、寸法過多なのかを一目瞭然に知ることができる。

【0075】以下、図5に示す構成の動作を図6のフローチャートを参照して説明する。なお、図6のフローチャートは基準偏差メモリ50に基準偏差 $\sigma ij$ が格納された以降の動作を説明するものである。

【0076】この場合、Z値メモリ25に被計測物体7の形状データが格納されるまでの動作は、先の図1の実

施例と同様であり、その説明は省略する。

【0077】減算器45では、Z値メモリ25に記憶された像面湾曲による誤差が含まれた被計測物体7の表面形状データ $Z_{ij}$ と基準形状メモリ40に記憶された基準形状データ $E_{ij}$ をインデックス毎に減算処理することにより、像面湾曲偏差が相殺された基準偏差データ $\sigma_{ij}$  ( $=Z_{ij}-E_{ij}$ )を算出し、これを基準偏差メモリ50に順次入力する。

【0078】このようにして、基準偏差メモリ50の各インデックス領域に基準偏差データ $\sigma_{ij}$ が記憶される。 10

【0079】この状態で、まず各インデックス $i, j$ , がクリアされ、次に、各インデックス $i, j$ , をそれぞれ1にインクリメントする(図6ステップ400、410)。

【0080】基準偏差メモリ50からは、インデックスが $i=j=1$ である基準偏差 $\sigma_{11}$ が読み出されてウィンドウコンパレータ75に入力され、またマスクメモリ70、最大偏差値メモリ60および最小偏差値メモリ65からインデックスが $i=j=1$ である $M_{11}$ 、 $R_{MAX11}$ および $R_{MIN11}$ がそれぞれ読み出されてウィンドウコンパレータ75に入力される。 20

【0081】ウィンドウコンパレータ75はマスク信号 $M_{11}$ が「1」である場合は、その出力 $J_{ij}$ を『4』して、これを判定メモリ80のインデックスが $i=j=1$ である領域に記憶する(ステップ440)。

【0082】また、ウィンドウコンパレータ75は、マスク信号 $M_{11}$ が「0」である場合は、基準偏差 $\sigma_{11}$ を最大許容値および最小許容値 $R_{MAX11}$ および $R_{MIN11}$ と比較し、 $R_{MIN11} < Z_{ij} < R_{MAX11}$ のとき良を示す $J_{ij}$ 信号『0』を出力し、 $R_{MIN11} \geq Z_{ij}$ のとき不良を示す $J_{ij}$ 信号『1』を出力し、 $R_{MAX11} \leq Z_{ij}$ のとき不良を示す $J_{ij}$ 信号『2』を出力し、これを判定メモリ80のインデックスが $i=j=1$ である領域に記憶する(ステップ430)。 30

【0083】このような処理をXY方向のインデックス $i, j$ が $i=L, j=M$ になるまでインデックスを順次インクリメントしながら繰り返す(ステップ450)。

【0084】このようにして被計測物体7のピーク処理、補正演算処理および検査処理を終了する。

【0085】なお、図3の構成を用いて図5に示したような検査処理を行うようにしてもよい。この場合、図3の補正メモリ30を図5の基準形状メモリ40に差し替え、図3の補正Z値メモリ33を図5の基準偏差メモリ50に差し替えるようにすれば良いまた、図5の基準偏差メモリ50を2面用意し、前述したように、一方のメモリに基準偏差 $\sigma_{ij}$ を入力しているときには、他方のメモリから基準偏差 $\sigma_{ij}$ を読み出して検査処理を実行する 40  
というように、2面のメモリに対して交互かつ並列に読み書き制御を実行させるようにして、X-Y検査平面に対する1回のX-Y走査では、被計測物体7の全X-Y 50

領域を計測できない場合のデータ処理に連続性を持たせるようにしてもよい。

【0086】なお、上記検査処理において、予め設定した個数以上の不良箇所を発見した時点で検査処理を中止し、その被計測物体(ワーク)を不良と判定するようにしてもよい。

【0087】また、複数の異なるワークの検査処理に対応すべく、基準形状メモリ40、最大偏差値メモリ60、最小偏差値メモリ65、およびマスクメモリ70を各ワークに対応して複数個用意し、これらを切り換えて用いるようにしてもよい。

【0088】また、図1または図3の補正Z値メモリ33の出力を最大許容値及び最小許容値と比較して被計測物体の良品不良検査を行うようにしてもよい。

【0089】また、実施例では、データセレクトや加減算器などを設け、各種の演算処理をハードウェアによって行うようにしたが、これらを全てホスト計算機でのソフトウェア処理によって行うようにしてもよい。

【0090】また、対物レンズの像面湾曲を補正したワークの計測値 $Z_{ij}$ を良品形状データとを正規化相関関数を用いてマッチング処理を行うことによって、物品の形状検査を行うようにしてもよい。この場合、対物レンズの像面湾曲補正処理が行われているので、ワークの置かれたX-Y位置によって計測値が異なることがなくなり、マッチング処理の精度も向上し、ひいては精度の高い検査をなし得る。

【0091】また、光検出器アレイ9がMOS型などのゲート読み出し方式の場合、ラスタスキャンによって各光検出器に蓄積された電荷を順次読み出して行くようになっているので、移動ステージ8をZ方向に変位させながら上記のようにして個々の光検出器の出力を順次サンプリングすると、各光検出器毎に電荷を読み出される時間が異なることになり、このため各光検出器毎にZ位置が異なってしまうことになる。したがって、或る1面のピーク処理をする間は、同じZ値となるようにZ軸エンコードの出力をサンプリングするあるいは補正するようにすればより高精度の計測をなし得る。因みに、CCDのような蓄積電荷転送バッファを持つ光検出器アレイ9の場合は、上記のような問題は発生しない。また、上記実施例ではZ方向の位置検出手段としてエンコードを用いるようにしたが、他の任意の検出機構によってZ方向位置を検出する様にしてもよい。

【0092】また、上記実施例では、共焦点光学系にテレセントリック系を構成する対物レンズを用いるようにしたが、非テレセントリック系の対物レンズを有する共焦点光学系に本発明を適用するようにしてもよい。

【0093】また、上記実施例では、Z軸移動ステージ8によって被計測物体をZ方向に移動させることにより、被計測物体に照射されるスポット光の前記共焦点光学装置の光軸方向に沿った集光位置と被計測物体との相

対位置を順次変化させるようにしたが、被計測物体 7 を固定し、対物レンズ 5 a あるいは 5 b を Z 方向に移動するようにしてもよいし、さらには共焦点光学系自体を Z 方向に移動するようにしてもよい。

【0094】また、上記実施例では、点光源アレイ（ピンホールアレイ PH1）と光検出器アレイ 9 の基本アレイの形状を正方マトリックスとするようにしたが、例えば基本アレイを六角形状または三角形状にするようにしてもよく、さらには点光源および各光検出器を一次元に配置したものをを用いるようにしてもよい。

【0095】また、本発明を適用する共焦点光学系は、先の図 7 に示したものに限らず、任意の構成を用いるようにしてもよい。例えば、特願平 7-247658 号には、図 7 に示すピンホールアレイ PH1 から発生される複数の点光源光と等価な光を発生する手段としてホログラムを用い、このホログラムを共焦点光学系内の任意の位置に配置したものや、図 7 に示すピンホールアレイ PH2 をピンホールアレイ PH1 で共用し、ハーフミラー 4 を削除し、ピンホールアレイ PH1 とレンズ 3 の間に光検出器アレイ 9 を配設したものなどが示されており、このような共焦点光学装置に本発明を適用するようにしてもよい。

#### 【0096】

【発明の効果】以上説明したようにこの発明によれば、3 次元形状計測によって得られた被計測物体の表面形状データを像面湾曲補正データによって補正するようになったので、像面湾曲誤差が補正され、これにより計測データの精度を向上させることができる。

【0097】またこの発明によれば、3 次元形状計測によって得られた被計測物体の表面形状データと被計測物体の基準形状を示す基準形状データ（この基準形状データには対物レンズによる像面湾曲誤差が含まれている）との偏差を求め、この偏差を基準偏差データとして用いるようにしたので、対物レンズの像面湾曲誤差分が相殺され、形状検査の精度を向上させることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の実施例を示すブロック図。

【図 2】図 1 の実施例の動作を示すフローチャート図。\*

\* 【図 3】この発明の他の実施例を示すブロック図。

【図 4】図 3 の実施例の動作を示すフローチャート図。

【図 5】この発明のさらに別の実施例を示すブロック図。

【図 6】図 5 の実施例の動作を示すフローチャート図。

【図 7】共焦点光学系を利用した 3 次元形状計測装置の構成を示す図。

【図 8】従来の 3 次元形状計測装置のデータ処理装置を示す図。

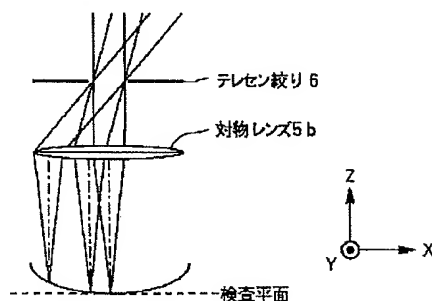
10 【図 9】従来のデータ処理を示すフローチャート図。

【図 10】対物レンズによる像面湾曲による誤差を説明する図。

#### 【符号の説明】

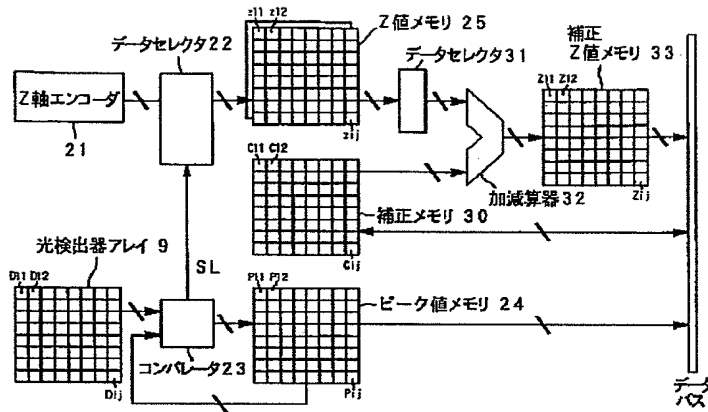
- 1 … 光源
- 2 … レンズ
- 3 … レンズ
- 4 … ハーフミラー
- 5 … 対物レンズ
- 6 … テレセン絞り
- 7 … 被計測物体
- 8 … 移動ステージ
- 9 … 光検出器アレイ
- 21 … Z 軸エンコーダ
- 22 … データセレクト
- 23 … コンパレータ
- 24 … ピーク値メモリ
- 25 … Z 値メモリ
- 30 … 補正メモリ
- 31 … データセレクト
- 32 … 加減算器
- 33 … 補正 Z 値メモリ
- 40 … 基準形状メモリ
- 45 … 減算器
- 50 … 基準偏差メモリ
- 60 … 最大偏差値メモリ
- 65 … 最小偏差値メモリ
- 70 … マスクメモリ
- 80 … 判定メモリ

【図 10】

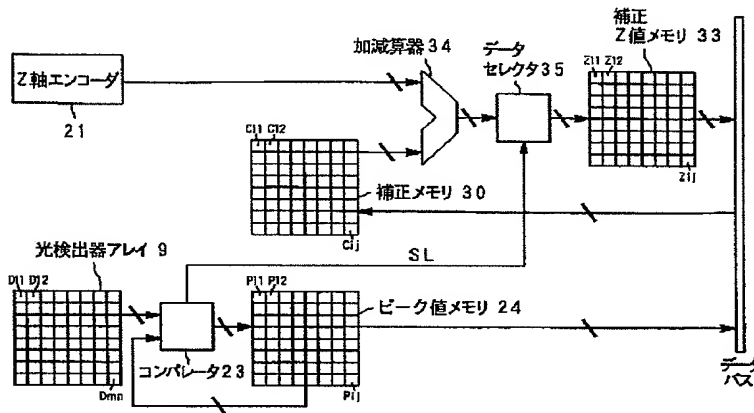




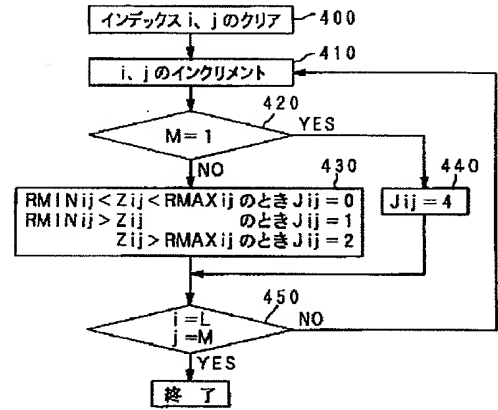
【図 1】



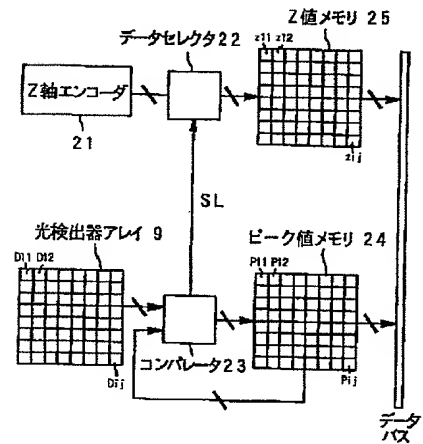
【図 3】



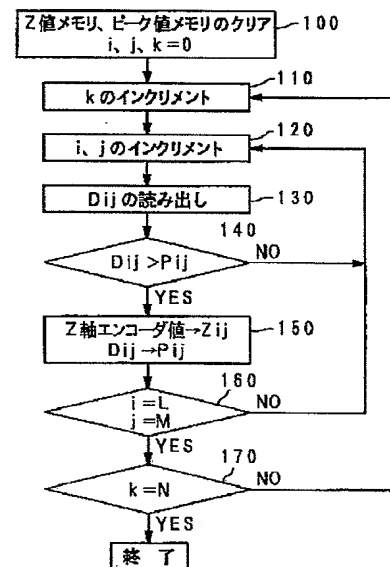
【図 6】



【図 8】

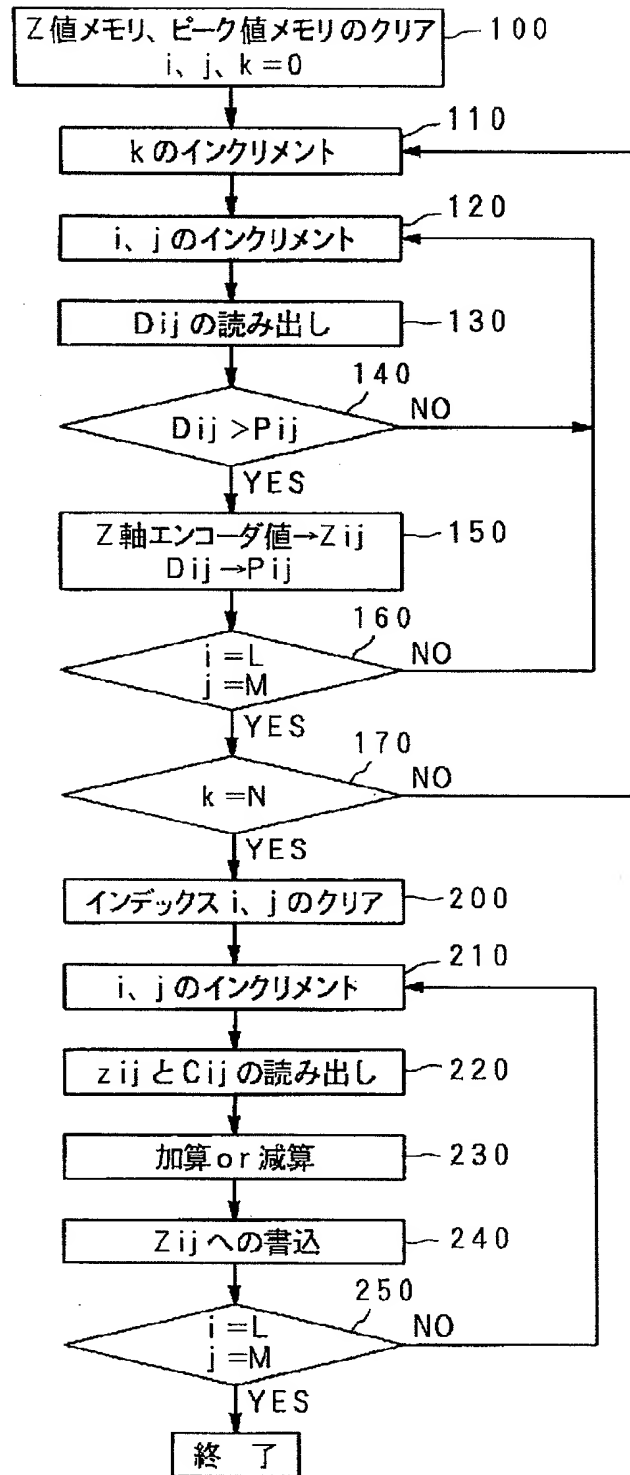


【図 9】

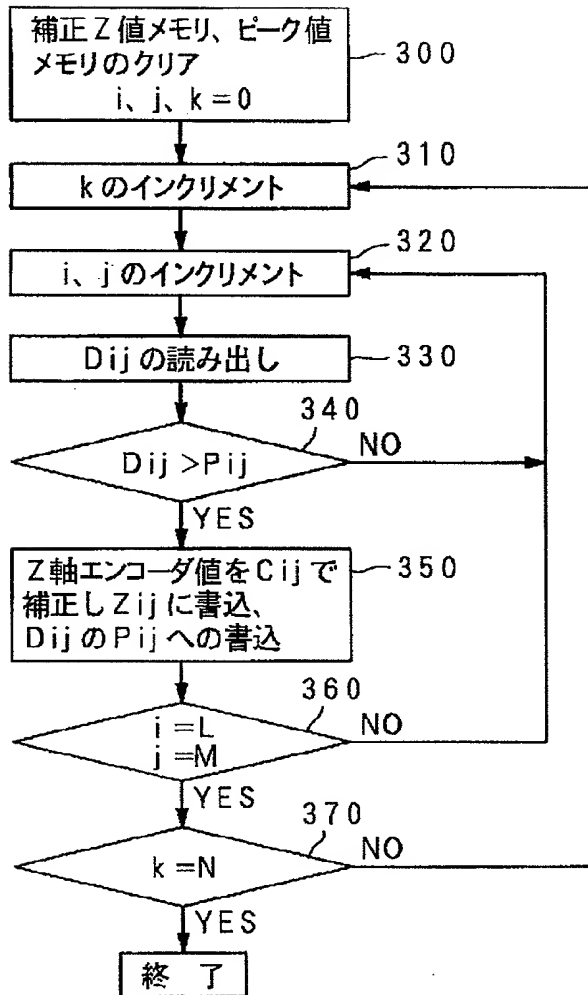




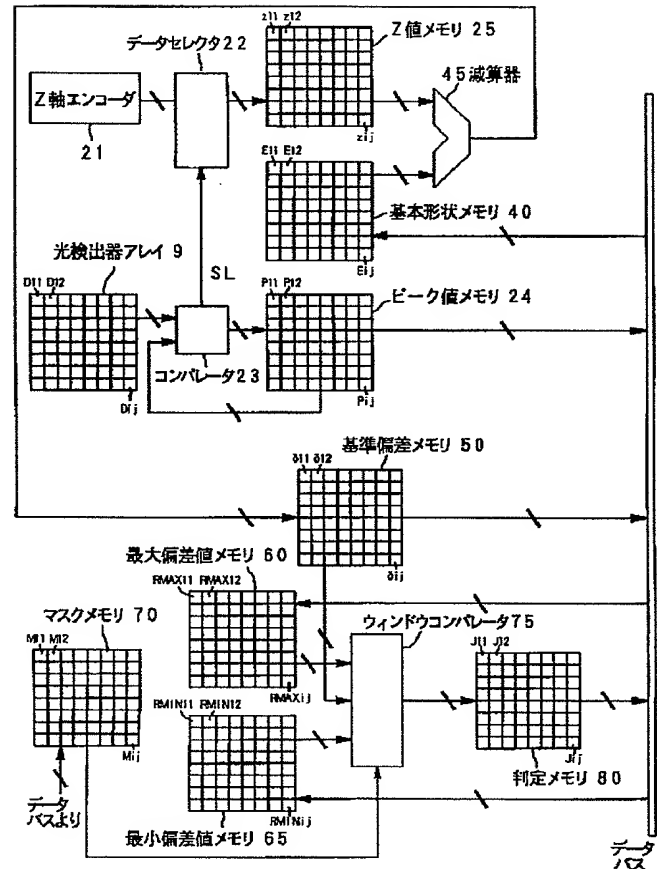
【図 2】



【図 4】



【図 5】



【図 7】

